ASADES

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente
Vol. 19, pp.03.67-03.78, 2015. Impreso en la Argentina
ISSN 2314-1433 - Trabajo selecionado de Actas ASADES2015

COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS COLECTORES CON ACUMULACIÓN INTEGRADA A PARTIR DE ENSAYOS NORMALIZADOS

Juan M. Lucchini, Javier H. Garnica y Jorge R. Barral
Universidad Nacional de Río Cuarto - Facultad de Ingeniería - Departamento de Mecánica
Ruta Nac. 36 Km. 601, 5800 Río Cuarto
Tel./Fax: (0358) 4676246 - e-mail: jbarral@ing.unrc.edu.ar

Recibido 16/09/15, aceptado 14/10/15

RESUMEN: Dos colectores con acumulación integrada, diseñados para brindar similares prestaciones de agua caliente residencial, son estudiados utilizando el ensayo previsto en el standard ISO 9459-2 para caracterizar el comportamiento térmico. Ambos son colectores monotanque, uno con un tanque de perfil oval y otro de perfil rectangular. El objetivo principal fue analizar la influencia de la relación volumen de almacenamiento - área de apertura y otros aspectos constructivos de estos colectores. Se ensayaron los colectores, analizando los resultados a partir de las gráficas previstas en la norma. La predicción de comportamiento anual de los equipos es acompañada de gráficos extra que permiten visualizar la cobertura que provee cada sistema para cada día del año. Aunque la captación de energía es similar, se observa un mejor comportamiento del colector de perfil oval en lo que respecta a cantidad de días con fracción solar igual a la unidad.

Palabras clave: colector con acumulación integrada; ensayo normalizado; comportamiento térmico; relación volumen/área; predicción anual.

INTRODUCCIÓN

La posibilidad de proveer las viviendas con agua caliente solar es una forma eficaz de atenuar sustancialmente los efectos de la crisis energética, como así también de contribuir a la conservación del ambiente. En particular en la República Argentina, que ha desarrollado una importante red de suministro de gas natural, que es un recurso que actualmente está escaseando, el reemplazo de dicho combustible en muchos hogares, beneficiaría enormemente tanto la generación de electricidad como la producción fabril (Nienborg, 2010). Esto potenciaría la alternativa de utilizar centrales térmicas, donde el gas natural sería quemado más eficientemente, como así también evitaría en los meses pico la realización de cortes de suministro a todos aquellos procesos industriales que utilizan este combustible y ven afectada su producción por la falta del mismo. Los beneficios ambientales se potencian al evitar el quemado del gas en quemadores domiciliarios de baja eficiencia, como así también en la instalación de equipos que no contaminan la atmósfera.

El problema para Argentina es que la dificultades para la penetración del calentamiento solar de agua se magnifican debido básicamente a la baja conciencia conservacionista de la población, a las débiles políticas gubernamentales que promuevan el uso de energías renovables, al bajo precio del gas natural subsidiado, y al alto costo inicial de los equipos que funcionan con energía solar. Mientras se trabaja en los ámbitos que corresponda para mejorar los aspectos enunciados precedentemente, la única alternativa para la adopción de esta opción energética por algunos sectores de la población es la imposición natural de estos sistemas por su conveniencia económica (Fasulo y Barral, 2005). Pero también hay que tener en cuenta que en las poblaciones más pequeñas y aisladas o periferia de las grandes ciudades donde no llega el gas natural, generalmente la situación económica de sus habitantes es relativamente comprometida como para realizar inversiones iniciales elevadas (Placco et al., 2010). Por estas razones se deben intensificar los desarrollos tecnológicos que apunten a la obtención de equipos que además de proveer la solución técnica adecuada, sean de un costo accesible.

Por lo dicho anteriormente, los colectores con acumulación integrada (CAI), se presentan entonces como una buena alternativa al ser sistemas simples, compactos y que no demandan procesos tecnológicos complejos para su fabricación. Un CAI es un sistema monocomponente que realiza la captación de la radiación solar en el mismo componente que la almacena (tubo o tanque), el cual se encuentra encerrado en una caja aislada con cubierta transparente (Smyth et al., 2006), siendo además la propia agua que demanda el usuario la que acumula la energía. Los CAI se conectan directamente a la línea de provisión de agua y actúan como precalentadores del sistema de provisión de agua caliente, respondiendo directamente a la demanda de los consumidores. No requieren de un tanque aislado de almacenamiento aparte, bombas de impulsión ni controladores como los sistemas activos, y frente a los sistemas termosifónicos presentan la ventaja de su resistencia al congelamiento, evitando así la presencia de un intercambiador de calor y fluidos anticongelantes. Presentan como dificultad un grado de enfriamiento nocturno relativamente alto, por lo cual el usuario debe adaptarse a la operación del sistema, tratando de realizar el consumo en horas de la tarde, momento en que el CAI ha receptado gran parte de la radiación solar y aún no ha comenzado su enfriamiento (Tripanagonstopoulos y Yianoulis, 1992).

En el Grupo de Energía Solar de la Universidad Nacional de Río Cuarto (GES) se ha trabajado desde el año 1997 con distintos modelos de CAIs, tratando de desarrollar mejores alternativas para la provisión de agua caliente residencial. Cada uno de los equipos estudiados tiene sus ventajas y sus problemas. Así, los dispositivos tubulares, que proveen una buena estratificación y ocupan toda el área de apertura de la caja aislada, demandan un gran número de conexiones y si se utilizan los caños directamente sin cortar el CAI resulta muy voluminoso (Barral et al., 2002). El estudio de sistemas bitanques con superficies reflectantes internas también brinda una solución técnica muy buena para la provisión de agua caliente residencial, pero tiene asociado el problema de una caja exterior muy grande y las dificultades para construir y mantener en buen estado las superficies reflectantes (Garnica et al., 2006) (Stoll et al., 2007).

Un sistema monotanque con perfil oval, fue también diseñado y construido, el cual ha demostrado ser muy conveniente, ya que es posible ocupar toda el área de apertura con la superficie del tanque, evitando así las superficies reflectantes, y se mantiene una estratificación razonable del agua (Garnica et al., 2011). El sistema fue diseñado para ser acoplado modularmente y poder así cubrir las demandas de distinta cantidad de usuarios. Este modelo presenta el problema de su dificultad constructiva, ya que las chapas que integran la superficie absorbedora y el almacenador, deben ser especialmente cortadas, conformadas y soldadas. Entonces, siguiendo un lineamiento similar en cuanto a la utilización de un superficie absorbedora que ocupe toda el área de apertura del colector, se ha propuesto un CAI armado directamente con perfiles de hierro disponibles comercialmente y con chapas soldadas sin necesidad de ser especialmente conformadas.

En la elección de los materiales con la menor intervención de mano de obra, el resultado final de la construcción del segundo prototipo, fue un colector que tiene una relación volumen de almacenamiento - área de apertura un tanto superior a la que tiene el colector oval. Dejando de lado los costos de fabricación, surgió entonces la pregunta de cuál de los dos es más conveniente para proveer la mejor fracción solar para un requerimiento domiciliario. Dado que la herramienta de evaluación del comportamiento térmico para este tipo de sistemas más reconocida a nivel internacional es la norma ISO 9459-2 (ISO, 1995) (Carvalho y Naron, 2000), se procedió al estudio de estos prototipos tomando como base dicha norma. A fin de visualizar mejor la pregunta original, se implementó computacionalmente una herramienta que permite ver la cobertura anual que provee un sistema de calentamiento de agua, considerando la fracción solar diaria y observando en cuantos días del año la demanda de energía de una vivienda es provista totalmente por la radiación solar. Se denomina "Fracción Solar" (diaria, mensual ó anual) al porcentaje energía que se provee en forma solar respecto al total demandado por los usuarios o proceso de calentamiento a que esté afectado el equipo (Duffie y Beckman, 2013).

En este trabajo, se explica más en detalle la motivación del problema, se describen luego los prototipos construidos, se detalla la aplicación de la norma para la realización de los ensayos en la Plataforma de medición del GES, y se analizan los resultados obtenidos.

MOTIVACIÓN - PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Para los casos de utilización de colectores de placa plana, tanto de agua como de aire, para sistemas de calentamiento que funcionan en forma activa, es decir que incluyen una bomba impulsora en su circuito de fluido caloportador, se cuenta desde hace años con un software de cálculo desarrollado inicialmente en la Universidad de Wisconsin, denominado f-Chart (Duffie y Beckman, 2013). El nombre f-Chart proviene de "Fracción solar" para la "f" y de la utilización de un gráfico para "Chart". Este software se basa en el conocimiento del rendimiento térmico de los colectores, como así también de la demanda del usuario y las condiciones climáticas del lugar de emplazamiento. Por defecto, para sistemas de agua caliente, el software está desarrollado para un almacenamiento en agua de 75 litros de agua por metro cuadrado de área de apertura de colectores. Si eventualmente se estima necesaria una relación superior o inferior, se proponen factores de corrección para las variables de cálculo. Este software ha probado ser muy confiable y se le usa internacionalmente para el diseño de instalaciones de todo tamaño.

No es así en el caso de los colectores con acumulación integrada, que si bien son muy antiguos, no ha sido posible aún encontrar una manera confiable de diseñarlos en función de parámetros fácilmente medibles para ciertas necesidades y climas. Se debe esto básicamente a la imposibilidad de estudiarlos como sistemas en estado estacionario, por su elevada inercia térmica, como así también a la gran cantidad de diseños y geometrías disponibles (tubulares, monotanques, varios tanques, con y sin superficies reflectantes, cilíndricos, rectangulares, con distintos tipos de cubiertas transparentes, aislados parcialmente, etc.).

Aunque los sistemas termosifónicos acarrean un problema parecido en cuanto a dificultad de diseño, por otras causas, sí existen para ellos recomendaciones de los fabricantes en función a la gran experiencia acumulada, para indicar para cada prestación, la combinación más recomendable de colector y tanque. Así para cada región, para una demanda de una cierta cantidad de personas por vivienda, se recomienda un sistema compacto predeterminado, que si se usa dentro de las recomendaciones del vendedor, va a prestar un servicio de una determinada fracción solar anual.

Para ambos casos, en que no es posible tratar al colector por separado del almacenamiento, se utiliza el ya mencionado Standard ISO 9459-2, el cual está en vigencia en la Unión Europea y varios países del mundo, extendiéndose cada vez más su uso a otros países y estando en este momento en tratamiento una adaptación de la misma en el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). Esta norma trata los sistemas bajo el concepto de "caja negra" y prevé una serie estudios experimentales para analizar la dinámica térmica de los mismos y propone un método para predecir el comportamiento de los equipos en el término de un año.

DESCRIPCIÓN DE LOS PROTOTIPOS

Los prototipos mencionados fueron fabricados completamente en un taller que posee incorporado el Laboratorio de Energía Solar de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto. En la Figura 1 se muestra el esquema del colector acumulador con perfil oval, donde claramente se detallan los distintos componentes del mismo. En la Figura 2 se muestra un esquema de la estructura básica del colector de forma paralelepipédica, sobre la que falta aún colocar la superficie absorbedora.

Los componentes que cierran esta estructura tanque-absorbedor del colector de perfil rectangular, son similares a los que se ven en el esquema del de perfil oval: aislaciónde lana de vidrio y poliestireno expandido, cubierta de policarbonato alveolar, caja exterior de chapa galvanizada, etc. En la Figura 3 se muestran ambos tanques-absorbedores en el proceso de fabricación. Se visualizan allí claramente dos estrategias distintas para evitar la rotura de la estratificación y favorecer el flujo cruzado del agua a lo largo de los colectores. En el caso del colector oval, este cuenta con una placa deflectora horizontal al medio, la cual además de dividir en dos compartimentos al tanque, le provee rigidez estructural. Al extremo opuesto a la entrada de agua, esta placa tiene unos agujeros para permitir el pasaje del agua. En el caso del colector de perfil rectangular, se minimizan los efectos de destrucción de la

estratificación mediante la introducción del agua de entrada por la parte de abajo de un caño que va hasta el otro extremo de la entrada. Así, este caño hace también que la entrada se produzca en forma cruzada a la salida, con lo cual se logra un recorrido más largo y distribuido del agua dentro del colector.

Finalizada la construcción de estos prototipos, luego del llenado de los mismos (para tener en cuenta las dilataciones de los materiales) se obtuvieron los valores de capacidad en litros de los mimos. Para el colector de perfil oval dio 72 litros, y para el de perfil rectangular 110 litros, verificándose en este último una incremento importante respecto al teórico medido con el tanque vacío, debido a la inexistencia del refuerzo central que brinda mayor rigidez estructural. Teniendo en cuenta las área de apertura, arrojaron un relación volumen/área de 85,88 l/m^2 para el oval y 104,6 l/m^2 para el rectangular.

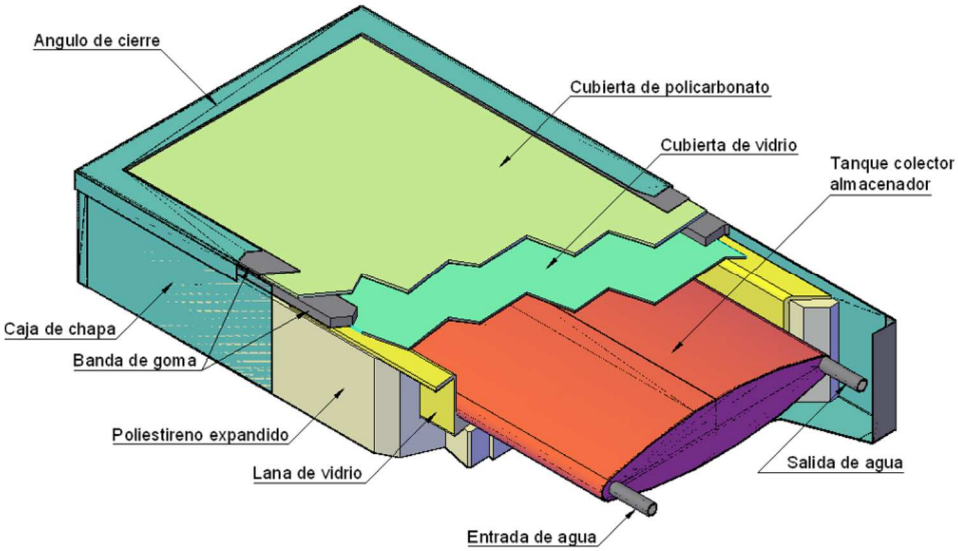


Figura 1: Vista en perspectiva y cortes parciales por sectores del colector de perfil oval.

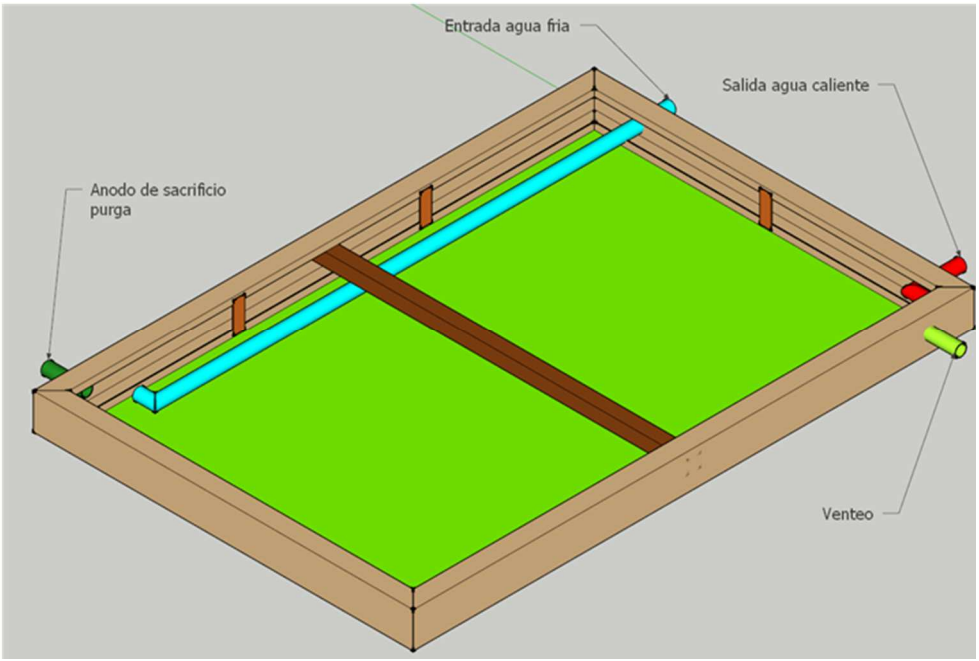


Figura 2: Esquema de la estructura del tanque para el montaje de la superficie absorbedora del colector con acumulación integrada de perfil rectangular.

ENSAYO NORMALIZADO DE LOS EQUIPOS

Para la realización de los ensayos se utilizó una máquina móvil de ensayos múltiples desarrollada en el Laboratorio de Energía Solar de la UNRC, la que cuenta con 3 tanques de 100 litros, dos bombas de circulación, 6 resistencias calefactoras de 1500 W cada una, dos caudalímetros de distinto rango de medición y una serie entradas y salidas, válvulas y conexiones. Esta máquina permite realizar tanto ensayos de colectores solares para calentamiento de agua mediante Standard ISO 9806-1 y equivalentes y ensayo de sistemas completos mediante Standard ISO 9459-2 y equivalentes. En la Figura 4 se muestra el panel frontal dicha máquina (panel de maniobras), donde se visualizan parte de los componentes mencionados. Las entradas y salidas se ubican en la parte posterior en dirección a los colectores y sistemas a ensayar.

(a) *(b)*

Figura 3: Tanques-absorbedores en proceso de fabricacion. (a) perfil oval; (b) perfil rectangular.

Figura 4:.Máquina de ensayos múltiples de calentamiento de agua solar.

Para la aplicación de la norma la ISO 9459-2 es necesario realizar una serie de mediciones durante varios días y con distintas condiciones de radiación para obtener una ecuación que represente el

funcionamiento del sistema cubriendo un amplio rango de posibilidades. Esto se logra vinculando a todas las mediciones con regresiones lineales que permiten representar la provisión de energía calórica útil del sistema mediante una única ecuación (ecuación 1), y también mediante una única ecuación el incremento de temperatura que puede experimentar el agua almacenada (ecuación 2). a_1 , a_2 , a_3 , b_1, b_2, y b_3 son los coeficientes que se obtienen de aplicar las regresiones lineales.

$$Q = a_1 H + a_2 \left(t_{a(day)} - t_{main}\right) + a_3 \tag{1}$$

$$t_{d(\max)} - t_{main} = b_1 H + b_2 \left(t_{a(day)} - t_{main}\right) + b_3 \tag{2}$$

(a) *(b)*

Figura 5: Colectores sobre la plataforma de ensayos. (a) perfil oval; (b) perfil rectangular.

Para determinar las ecuaciones 1 y 2 se necesitan al menos 6 series de mediciones (1 serie por día), en las cuales se deja calentar libremente el sistema desde 6 horas antes del mediodía solar, mientras se mide, graba e integra toda la energía radiante recibida por la superficie del absorbedor, *H*, para luego después de 6 horas del mediodía solar realizar una descarga de al menos 3 volúmenes de la capacidad del tanque a un caudal de 10 litros por minuto, mientras se mide la temperatura de salida. También durante el periodo de calentamiento se mide y graba la temperatura ambiente, para calcular el valor de la temperatura media durante las 12 horas de calentamiento, $t_{a(day)}$. Se debe utilizar tanto para la carga del sistema inicialmente como para la extracción final una temperatura de ingreso de agua fría constante, t_{main}. Luego el área encerrada entre la curva de medición de temperatura durante la extracción y la recta horizontal de t_{main} será proporcional a la energía útil suministrada por el equipo de calentamiento al agua con que se cargó el sistema al inicio.

A las mediciones de de calentamiento, se le deben agregar al menos dos grupos de mediciones más, denominadas “mixing” (mezclado) y pérdidas nocturnas, para determinar un coeficiente de pérdida de calor del tanque de almacenamiento, U_s, siendo estos ensayos necesarios para la predicción del comportamiento (performance) del sistema a largo plazo (un año). La medición del mezclado verifica cuán bien se mantiene la estratificación en el tanque de almacenamiento cuando se le extrae agua y el ensayo de pérdidas nocturnas da una idea de cuán aislado se encuentra el tanque de almacenamiento. El procesamiento de los datos arroja expresiones generalizadas (ecuaciones 1 y 2) que pueden ser aplicadas a distintas condiciones climáticas y de demanda para predecir el comportamiento energético del equipo ensayado y saber cuánta energía convencional se puede ahorrar. En otras palabras, son las "ecuaciones representativas" del sistema de calentamiento.

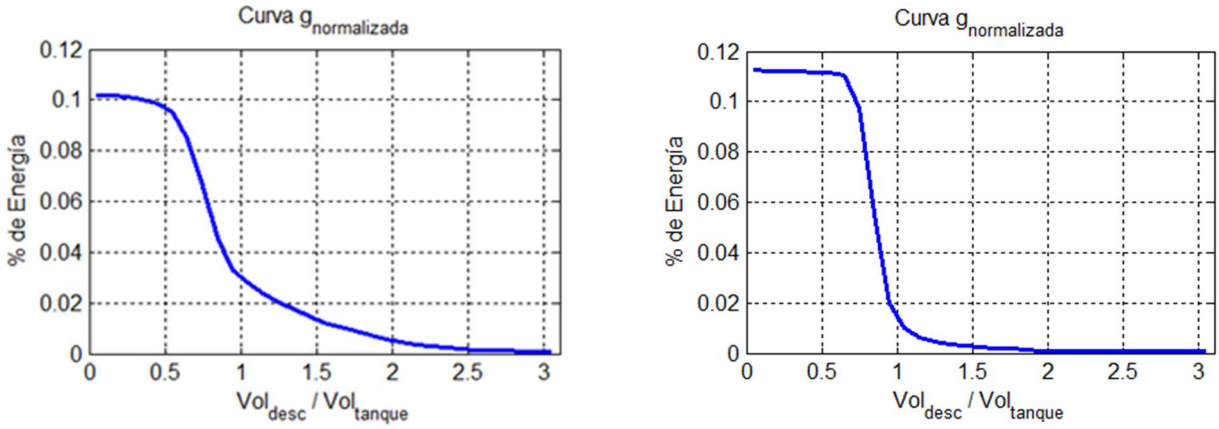
Debe observarse que el ensayo no prevé originalmente la determinación de algún tipo de “eficiencia”. Se hace esta aclaración, ya que el concepto de rendimiento térmico instantáneo previsto en la medición

de los colectores planos cuando se les mide por separado, está muy internalizado en el medio de quienes se dedican a las instalaciones solares, como así también suele ser un elemento de venta para promocionar un equipo. En esta línea, es habitual que lo primero que se consulte es si el equipo tiene buena eficiencia. El rendimiento térmico que se mide en los colectores planos es para sistemas que están funcionando en estado estacionario, lo cual es absolutamente imposible en estos equipos de altísima inercia térmica. Tal es así que ni siquiera una eficiencia media diaria es muy representativo, lo cual resulta evidente si se considera que el equipo no va a funcionar igual un día soleado que uno nublado.

RESULTADOS OBTENIDOS

Si bien la proyección anual es lo que es definitorio ante la elección de uno u otro equipo, se ve a continuación que algunas conclusiones se pueden sacar al observar las curvas de descarga que brindan los CAIs después de los distintos ensayos. Tal lo previsto en el Standard ISO 9459-2, tanto las curvas de mixing como de descarga del calentamiento, están dadas en valores normalizados, graficándose en vez de temperatura, el porcentaje de energía provisto en cada intervalo de tiempo considerado respecto al total dado por el equipo para el evento que corresponda (mixing o descarga de calentamiento). Dicha normalización se realiza con un cálculo calorimétrico teniendo en cuenta los datos medidos en cada proceso de medición.

Los resultados del mixing se muestran en la Fig. 6 para ambos equipos. Explicado brevemente en forma conceptual, el mixing es menor (se mezcla menos el agua de entrada con el volumen calentado) cuando se ve que la curva mantiene un valor alto durante un espacio de vaciado mayor, o sea, que mientras más energía sobre el total recolectado se encuentre a la izquierda del valor 1, correspondiente a un volumen del tanque. Cuando la curva "se aplana", está indicando que gran parte de la energía acumulada recién se está entregando cuando ya se ha vaciado el primer tanque. Allí se ve que el equipo con sección rectangular tiene un mejor comportamiento que el de sección oval. Esto es razonable, teniendo en cuenta que el oval tiende a "afinar" su sección en la parte superior, que es donde se alcanzan las mayores temperaturas por el efecto de la estratificación, mientras que el equipo rectangular mantiene constante su sección en todo su perfil lateral.

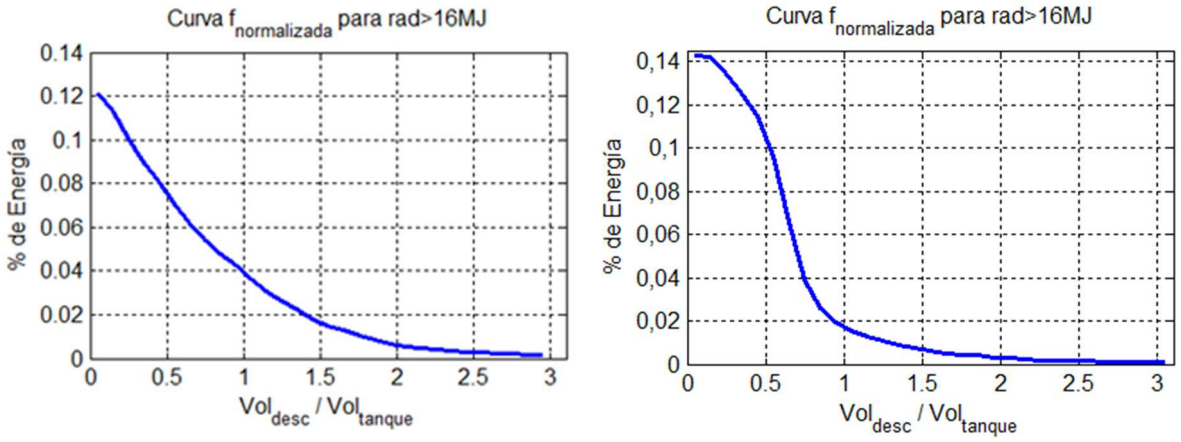


(a) *(b)*

Figura 6: Curvas normalizadas de mezclado (mixing). (a) perfil oval; (b) perfil rectangular.

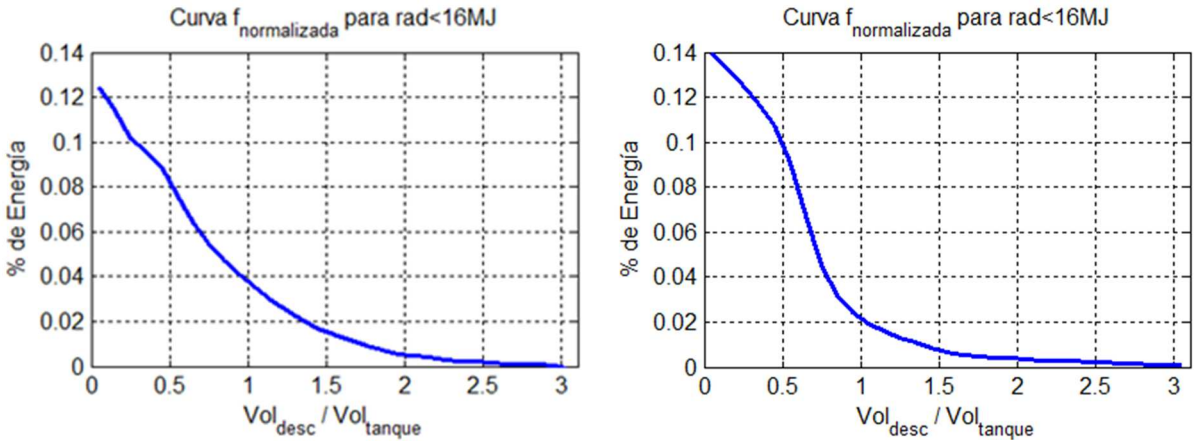
Se muestran en la Fig. 7 y 8 las curvas para las descargas de calentamiento para dos niveles distintos de radiación, tal lo previsto en la norma. Aquí también se observa una mejor respuesta a la estratificación del colector de perfil rectangular respecto del oval. Cabe aclarar que esto no significa que la energía se pierda, sino que se difiere su uso para una vez que se ha vaciado ya el primer tanque. Si no se va a usar más de un tanque (que es lo razonable en una instalación bien diseñada), esta energía que aquí se extrae porque es la forma de medir que tenemos con esta norma, en un caso real no se extraería y quedaría remanente para pasar la noche dentro del tanque e iniciar el ciclo de calentamiento

al día siguiente. Es este justamente el razonamiento que se ha realizado para el diseño del modelo de cálculo de predicción anual que se efectúa a posteriori.



(a) *(b)*

Figura 7: Curvas normalizadas de descarga de calentamiento para un nivel de radiación diaria mayor a 16 MJ. (a) perfil oval; (b) perfil rectangular.



(a) *(b)*

Figura 8: Curvas normalizadas de descarga de calentamiento para un nivel de radiación diaria menor a 16 MJ. (a) perfil oval; (b) perfil rectangular.

Para el cálculo de la predicción anual, el Standard ISO 9459-2 prevé una extracción diaria 6 horas después del mediodía solar, de una cantidad de agua igual a un (1) volumen de tanque. Se debe tener una base de datos climáticos con valores horarios (8760 juego de datos). El calentamiento se calcula utilizando la ecuación (1) y la elevación de la temperatura con la ecuación (2). Como no se extrae toda la energía (solo la correspondiente a un volumen) con las curvas normalizadas de mixing y descarga, se determina la energía remanente en cada noche. Luego, con el valor de pérdidas globales, U_s , y los datos de temperaturas nocturnas, se estiman las pérdidas y se determina la temperatura de largada para el siguiente ciclo diario de calentamiento. De esta manera, se realiza para los 365 días del año, y se puede así estimar la energía provista por el sistema cada día del año. Integrando todos los valores, es posible calcular la fracción solar anual (porcentaje de la demanda cubierto con energía solar). El único inconveniente, es que los datos de temperatura y extracción son los que propone la norma (40 °C y un volumen de tanque). La ventaja es que como esta análisis se le realiza por igual a todos los equipos, es posible obtener una comparación entre ellos. La norma plantea esta metodología en forma analítica pero no provee un programa computacional para su aplicación, el cual debe ser desarrollado por quien desee trabajar con ella.

Con los resultados de la norma, en el mismo software desarrollado para la predicción anual, se ha adicionado un algoritmo, que permite al GES agregar en sus informes la presentación de gráficos que permiten visualizar los efectos de aplicar la metodología de la norma. Estos gráficos se muestran en las Figuras 9, 10, 11 y 12. Las figuras 9 y 10 dan cuenta día por día de cuáles son los que tienen cobertura energética total solar. La línea roja indica la energía requerida en ese día, que se ha calculado para un año típico meteorológico de la ciudad de Río Cuarto, los puntos verdes indican los días en que la extracción de agua supera los 40 °C en todo el volumen extraído, y los puntos azules, los días en que la energía solar no fue suficiente para lograr la cobertura total.

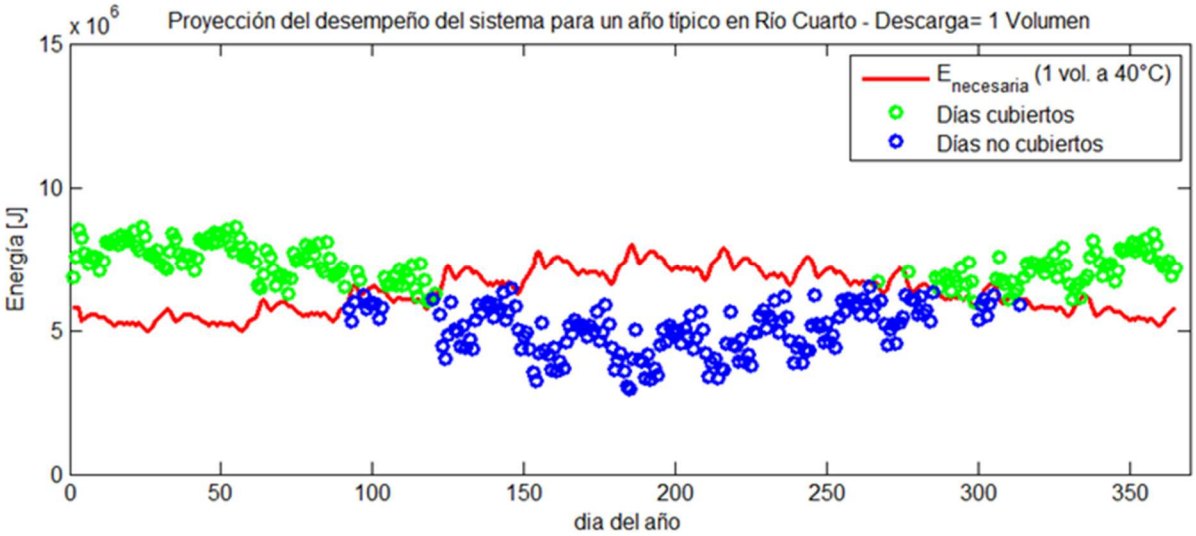


Figura 9: Dias cubiertos y no cubiertos con energía solar para el lapso de un año por el CAI con sección oval.

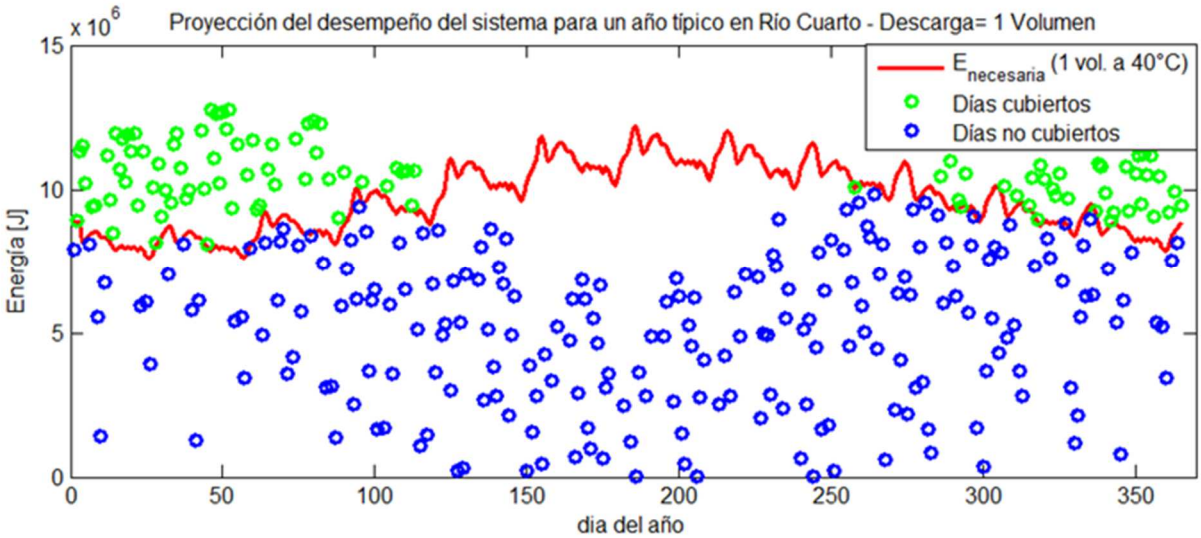


Figura10: Dias cubiertos y no cubiertos con energía solar para el lapso de un año por el CAI con sección rectangular.

Se observa aquí que si bien el sistema con sección rectangular ha tenido un buen comportamiento en lo que respecta a las curvas de descarga de calentamiento y mixing, es menos eficiente en cuanto a la cantidad de días que puede cubrir. Lo que sucede es que como tiene más volumen, se espera que sea capaz de proveer más energía (línea roja). Asimismo, como los datos climáticos son los mismos, se puede comparar día a día y se ve que el colector de sección rectangular provee en muchos casos más energía que el de sección oval. Por otro lado, la prestación del rectangular es muy mala en los días invernales y parte de otoño y primavera.

También se ha realizado un agregado al programa para la realización de descargas de agua hasta que el agua a la salida disminuye a menos de 40 °C, momento en que se detiene la descarga, marcándose con un punto verde aquellos días en que se alcanzó a sacar un volumen de tanque, y con azul los días en que no se alcanzó. Similarmente a lo anterior, también en esta metodología de análisis, el desempeño del colector con sección rectangular estuvo por debajo del de sección oval.

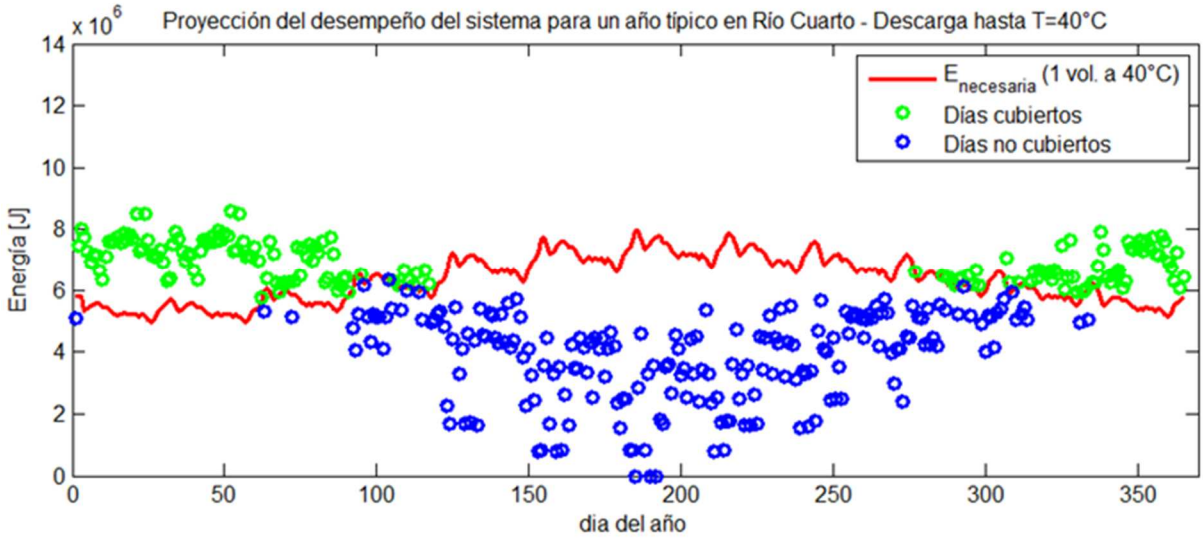


Figura 11: Días en que se detuvo la descarga al llegar a valores menores a 40 °C, para el lapso de un año, para el colector de sección oval.

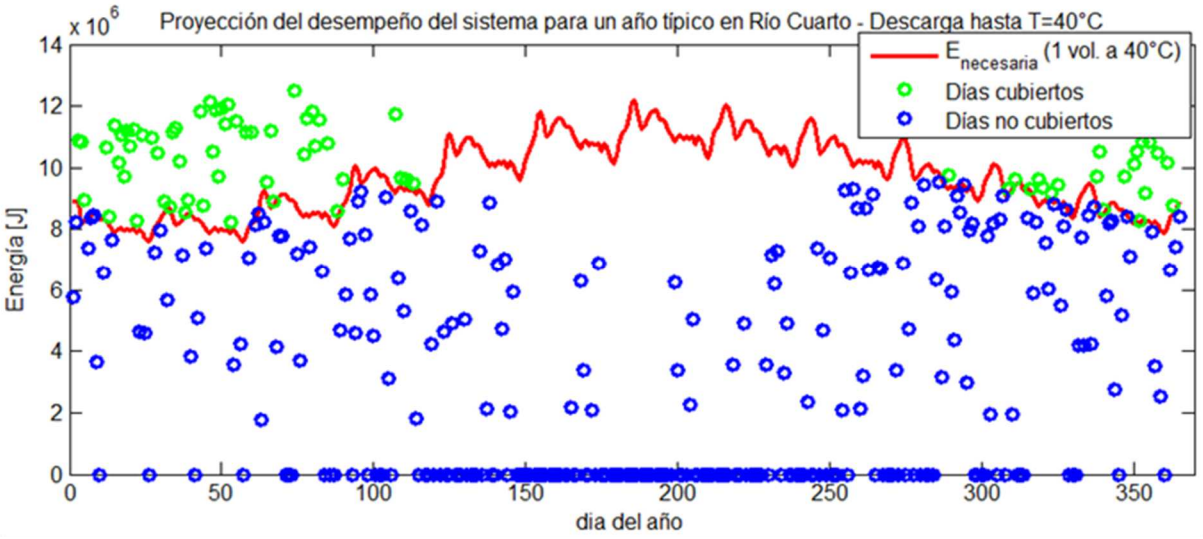


Figura 12: Días en que se detuvo la descarga al llegar a valores menores a 40 °C, para el lapso de un año, para el colector de sección rectangular.

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados de los ensayos se pueden inferir las siguientes conclusiones:

a) El CAI con sección oval se comportó de mejor manera que el de sección rectangular en cuanto a la fracción solar, logrando una cobertura de provisión total solar en más días que el CAI de sección

rectangular, el cual con similitud en los aspectos constructivos, tiene una relación volumen/área un 21,8 % superior. Tomando en cuenta esto, y también por experiencias anteriores (Garnica et al., 2006) (Stoll et al., 2007) surge como recomendable no superar un cierto valor de litros de almacenamiento por metro cuadrado de área de apertura de colector.

b) Para la región de Río Cuarto, el valor de relación volumen/área que se recomendaría no exceder es el de 75 litros por metro cuadrado, dejando en claro que ese es un valor de implicancia regional. Es obvio que en una región con más horas de asoleamiento y cielos más claros, una relación aún mayor podría funcionar.

c) El colector rectangular, dado su volumen de almacenamiento, proveía una cierta cantidad de energía que podría ser totalmente aprovechable con algún respaldo de energía convencional, logrando así importantes ahorros monetarios. Pero es muy común la demanda del usuario que quiere "agua caliente", perdiendo muchas veces de vista la importancia del ahorro energético. En la intención de promover y difundir el uso de energía solar para calentamiento de agua, el cliente siempre tiene razón, y si lo que desea es que el agua salga muy caliente, habrá que buscar los medios para que así sea.

d) Las representaciones mostradas en las últimas cuatro figuras son muy convenientes para dar una explicación más comprensible tanto a quienes solicitan el ensayo, como a cualquier potencial usuario de estos equipos. Muchas veces los ensayos se solicitan porque lo exige alguna razón contractual, y más allá de tener que pasar el proveedor la estresante experiencia de someter su equipo a un ensayo, es muy útil para el proveedor, fabricante o instalador de equipos solares, tomar un conocimiento certero de las prestaciones que puede prestar esta norma desde el punto de vista tanto de la predicción anual, como así también de los detalles de las curvas de descarga y mixing que lo podría estar indicando que desde el punto de vista constructivo algo no está funcionando bien.

e) Debe aclararse que esta norma no está pensada para mostrar un número de eficiencia instantánea del equipo como lo es para el caso de los colectores de placa plana. Para ello se hace la predicción anual. Eventualmente se podría estar pensando en un cociente entre toda la energía provista en un mes o un año y dividirla por la energía necesaria para ese período.

REFERENCIAS

Barral J., Galimberti P., Lema A. , Adaro J. y Fasulo A. (2002) Design, construction and simulation Analysis of a low cost Tubular Integral – Collector - Storage System. EuroSun 2002 - The 4th ISES - Europe Solar Congress. Bologna – Italia.

Carvalho, M.J. y Naron, D.J. (2000) Comparison of test methods for evaluation of thermal performance of preheat and solar-only factory made systems. Solar Energy Vol. 69, p. 145–156.

Duffie J. A. y Beckman W. A (2013) Solar Engineering of Thermal Processes, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc.

Fasulo A. y Barral J. (2005) Desarrollo de un colector solar acumulador (superficies selectivas–policarbonato vs. pintura negra–vidrio). Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 17, pág. 11-20.

Garnica J. H., Barral J. R., González A. S. y Lucchini J. M., 2006. Estudio experimental de un colector con acumulación integrada de dos tanques con superficies reflectantes y cubierta de policarbonato. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 10, pág. 3-53:3-59.

Garnica J. H., Lucchini J. M., Stoll R. G. y Barral J. R. (2010) Ensayos normalizados de colectores solares y sistemas de calentamiento de agua en argentina: análisis de la situación, avances y dificultades. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 14, pág. 3.147 – 3.154.

Garnica J. H., Lucchini J. M. y Barral J. R. (2011) Performance of integral collector storage systems of oval section tanks. Actas de ISES Solar World Congress 2011, Kassel, Alemania.

ISO (1995) International Standard ISO 9459-2 Solar heating – Domestic water heating systems – Part 2: Outdoor test methods for system performance characterization and yearly performance prediction of solar-only systems. International Organization for Standarization, Suiza.

Kalogirou S. A. (2009) Solar Energy Engineering, Processes and Sytems. Academic Press.

Nienborg B. (2010) El Mercado para Calentadores Solares en la Argentina – Estado actual, Rentabilidad, Potencial, Barreras y Posibles Soluciones.
Placco C., Saravia L., Cadena C. (2010) Informe Técnico sobre Colectores Solares para Agua Caliente. Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO), Salta, Argentina.
Smyth M., Eames P.C., Nortonb B. (2006) Integrated collector storage solar water heaters. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 10, pp. 503–538.
Stoll R. G., Garnica J. H., Barral J. R. y Fasulo A. J., 2007. Estudio del comportamiento de colectores con acumulación integrada de dos tanques con y sin descarga de agua caliente. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 11, pp. 3-53:3-60, 2007.
Tripanagonstopoulos Y. y Yianoulis P. (1992) Integrated Collector-Storage Systems with Supressed Thermal Losses, Solar Energy, Vol. 48, p. 31, 1992.

ABSTRACT: Two integral collector storage systems, designed to provide similar domestic solar water heating were studied under the rules of ISO 9459-2 international standard in order to characterize their thermal behaviour. Both of them are monotank collectors having different transversal section: oval and rectangular. The main goal of this work was to analyze the influence of the storage volume-aperture area and other constructive aspects of this kind of collectors. The prototypes were tested, analyzing their results by using the equations and plots proposed by the standard. The annual prediction of solar energy the systems can cover per day was made, and extra plots were prepared, which are very useful to visually present in an understandable form de degree of energy coverage a system can provide. Although the energy absorption is similar, a better behaviour of the oval system was shown considering those days where the solar fraction is equal to one.

Keywords: Integral collector storage system; normalized test; thermal behaviour; volume/area relationship; annual prediction.